

Géographie physique et Quaternaire



Commentaire sur « La météorisation sur les hauts plateaux de la Gaspésie (Québec) : quelques aspects », par P. Bédard et P.P. David

Mireille Bouchard et Milan J. Pavich

Volume 47, numéro 1, 1993

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/032936ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/032936ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer ce document

Bouchard, M. & Pavich, M. J. (1993). Commentaire sur « La météorisation sur les hauts plateaux de la Gaspésie (Québec) : quelques aspects », par P. Bédard et P.P. David. *Géographie physique et Quaternaire*, 47(1), 119–123.
<https://doi.org/10.7202/032936ar>

Commentaire

COMMENTAIRE SUR «LA MÉTÉORISATION SUR LES HAUTS PLATEAUX DE LA GASPÉSIE (QUÉBEC): QUELQUES ASPECTS», PAR P. BÉDARD et P.P. DAVID

Mireille BOUCHARD et Milan J. PAVICH, Département de géographie, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale «A», Montréal, Québec H3C 3P8 et United States Geological Survey, National Center 950, Reston, 22092 Virginia, U.S.A.

Dans un numéro récent, P. Bédard et P.P. David ont publié un article intitulé «La météorisation sur les hauts plateaux de la Gaspésie (Québec): quelques aspects» (GpQ 1991, 45, 2: 195-212). Les auteurs y font état de la découverte de 26 nouveaux sites d'altérites dans les hauts plateaux de la Gaspésie et attribuent ces altérites à «une très ancienne surface de météorisation formée sous un climat chaud et humide, vraisemblablement d'âge tertiaire» (p. 209). Toutefois, une telle conclusion ne repose pas, selon nous, sur une compréhension adéquate des modalités de l'altération et semble plutôt découler d'une idée préconçue en ce qui concerne l'âge des altérites des hauts plateaux gaspésiens, qu'ils semblent vouloir à tous prix faire remonter au Tertiaire, c'est-à-dire à plus de 1,8 Ma AA.

LES PROFILS PRÉSENTÉS

Dans le cadre de travaux d'exploration géochimique des dépôts glaciaires, les auteurs ont effectué 160 excavations à l'intérieur d'un quadrilatère de 55 km sur 100 km, s'étendant depuis l'estuaire du Saint-Laurent, entre Marsoui et Gros-Morne, jusqu'à la partie sud du plateau gaspésien. Vingt-six de ces excavations ont exposé des épaisseurs d'altérites variant de 10 cm à plus de 3,10 m.

En tout, *cinq coupes* sont décrites (fig. 3, p. 200), présentant à la base: la «roche en place désagrégée en sable et en silt» (coupe 216; le texte nous apprend qu'il s'agit d'une arène); un «diamicton caillouteux brun-beige, oxydé, compact» (?) (coupe 217); la «roche en place très fracturée et très altérée» (?) (coupe 517; «roche en place météorisée» dans le texte); une «blocaille monolithique (calcaire), très fracturée, altérée rouge brique» [coupe 719; selon le texte l'altération correspondrait à une «patine d'altération rouge hématite» développée sur la roche carbonatée (?)]; finalement la «roche en place très altérée» sur une «frange de 3 cm» [coupe 416; la roche en place y aurait subi «une décalcification partielle des carbonates accompagnée d'une limonitisation» (p. 198)].

Voilà donc les cinq coupes que Bédard et David ont sélectionné, à partir de leurs 26 coupes présentant des «altérites». Il est clair qu'il y a confusion sur le concept d'altérite dans l'article, l'altérite correspondant au produit plus ou moins friable de l'altération d'une roche en place, c'est-à-dire à la phase résiduelle, généralement meuble, de l'altération météorique. Une «roche fracturée» ou une «blocaille mono-

lithique» (sic) ne peuvent en aucun cas être considérées comme des altérites. L'appellation «diamicton caillouteux» peut à la rigueur correspondre à la description d'une altérite à boules résiduelles, mais rien n'est moins sûr dans le cas de la coupe 217, étant donné la pauvre description qui en est faite. De même, un cortex d'altération de 3 cm comme celui de la coupe 416 ne peut recevoir le nom d'altérite que de façon abusive. Si ces cinq profils correspondent vraiment à ce que les auteurs ont de plus impressionnant à présenter, et cela à l'appui de leur hypothèse de la présence de vestiges d'une altération intense d'âge tertiaire, alors ils ont le fardeau de la preuve.

En fait, des coupes décrites, seule la coupe 216 valait la peine qu'on s'y attarde. C'est cette coupe, pour laquelle nous avons déjà donné certains résultats, qui a fait l'objet d'une étude plus poussée. Il n'en reste pas moins que l'argumentation des auteurs en faveur de l'identification de «la surface [de météorisation] la plus ancienne, représentée par les altérites» (p. 208), surface qui, selon eux, est une «ancienne surface ...d'âge tertiaire» (p. 208) n'est en définitive basée que sur une seule coupe d'altérites (au sens propre). Ceci n'est pas convaincant d'un point de vue méthodologique et porte ombrage sur les conclusions de l'article. Par ailleurs il devient clair que tout le discours de Bédard et David en faveur d'un caractère hérité de ces altérites repose sur cette coupe 216, dont nous parlerons plus loin.

LA NATURE LITHOLOGIQUE DE LA ROCHE MÈRE

Ce thème est rapidement évacué dans l'article de Bédard et David. Ces derniers disent vérifier que l'ampleur de l'altération n'est pas liée à la présence d'une roche mère très sensible à l'altération. Ils ont regroupé les 26 «altérites» en sept types lithologiques et reporté la fréquence de chaque type sur un histogramme. Constatant la surreprésentation des roches sédimentaires — 19 sites — ils préfèrent considérer que cette situation relève davantage de «la disposition géographique des traverses [transects] par rapport aux formations géologiques que de leur sensibilité à la météorisation» (p. 202). Cette interprétation n'est pas tout à fait convaincante, de même que lorsqu'ils concluent «qu'il n'y a pas de relation entre la présence d'altérites et le type lithologique de la roche mère.» (p. 202). Par ailleurs, c'est bien de *présence* qu'il s'agit, sans distinction du degré d'altération. Or, quelle est l'utilité de discuter ce point ici, si on ne tient pas compte du

degré d'altération de chacune des coupes. S'agit-il de 2 coupes d'altérites profondes et évoluées et de 24 affleurements de « roche fracturée » recouverte d'une patine?

LA DISTRIBUTION DES ALTÉRITES

Les auteurs ont divisé ce thème en traitant séparément (1) de l'altitude des altérites et de ce qu'ils appellent (2) la « position géomorphologique » et (3) la « position topographique » des sites d'altérites. Toutes les conclusions de cette partie de l'article s'appuient sur les données de l'échantillonnage.

Dans le premier cas, les coupes échantillonnées ont été reportées sur cinq transects diversement orientés (deux du nord au sud et trois l'ouest à l'est). Deux transects ne sont pas présentés dans l'article « à cause de l'absence d'altérites dans ce secteur ». L'interprétation finale selon laquelle les hauts plateaux les plus élevés seraient plus favorables à la « préservation » des altérites devrait être nuancée: le transect n° 100 ne comporte que deux sites d'altérites et le transect n° 200 qu'un seul. Dans le transect n° 700, où on dispose de cinq coupes d'altérites, il y en a autant en position haute qu'en position basse. Comment peut-on sérieusement tirer des conclusions à l'échelle régionale à partir de données si éparses? Se pose ici toute la question de la représentativité de l'échantillonnage: faire l'étude détaillée de profils donnés, comme c'est le cas plus loin dans l'article, est une chose. Utiliser la distribution géographique d'un certain nombre de profils pour en dégager des conclusions de portée générale en est une autre. Une telle démarche exige une réflexion préalable et de la rigueur dès la collecte des données, qui est alors spécifiquement orientée en fonction d'une éventuelle utilisation statistique. Nulle part dans leur article Bédard et David ne nous rassurent à ce sujet. Par ailleurs, avant de parler de préservation, ne convient-il pas d'abord de démontrer qu'on a affaire à des altérites préglaciaires? Quoi qu'il en soit, il nous semble évident que leurs conclusions doivent être prises avec toutes les réserves qui s'imposent.

En ce qui concerne la « position topographique » des altérites, les auteurs observent une concentration des profils sur les versants exposés au nord et au sud. Des observations plus précises sur chacun des sites auraient été plus riches d'enseignements. Par exemple, on aurait peut-être pu mettre cette disposition en relation avec le caractère linéaire et sélectif de l'érosion glaciaire dans cette région de moyennes montagnes et de hauts plateaux. Les vallées orientées du nord au sud ayant été plus affectées par l'action de la glace, les versants ouest et est ont été récurés en plus grande proportion que les versants nord et sud des vallées perpendiculaires à l'écoulement glaciaire, de même que les hauts plateaux à glace froide. Malheureusement, les observations de Bédard et David ne permettent pas une telle remise en contexte des sites dans leur cadre géomorphologique, seule démarche véritablement satisfaisante lorsque l'échantillonnage est discutable et très inégal d'un endroit à l'autre de la région étudiée.

INTERPRÉTATION DES DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Bédard et David ont effectué 680 analyses chimiques pour les éléments suivants: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, As et

U. Ils retiennent trois de ces éléments — Cr, Zn et U — et discutent de leur concentration respective dans la roche en place, « l'altérite », les « colluvions anciennes », le till, les sédiments « glacio-fluviaux » et les « colluvions de surface ». Ici la première remarque qui s'impose concerne la présentation des données: pour les trois éléments choisis et pour chacun des faciès retenus, toutes les analyses sont rassemblées, sans aucune distinction en rapport avec la roche mère ou avec les profils. Les 28 profils d'altération avaient pourtant été regroupés plus tôt en sept types lithologiques aussi variés que les siltstones, les calcaires, les cornéennes, les marbres, les intrusifs felsiques, les intrusifs mafiques et les basaltes! Comment interpréter les analyses obtenues si elles sont présentées de cette façon? Sur les graphiques il est impossible de relier telle analyse de la roche en place à telle autre de l'altérite ou du till susjacent. Comme par ailleurs les auteurs ne donnent pas d'analyse chimique au moins des roches mères saines, le lecteur n'a aucun point de repère pour interpréter lui-même les données. Il aurait été beaucoup plus utile de présenter les données pour certains profils choisis ou pour un groupe de profils développés sur roches mères de même type. En conséquence, les affirmations comme « Ceci montre que les processus de la météorisation qui ont produit ces altérites étaient différents de ceux qui sont en cours présentement » (p. 207, pour le chrome) ou encore « Cette tendance pourrait représenter la contribution postglaciaire à la dispersion géochimique du Zn » (p. 207, idem pour U selon les auteurs) ne nous semblent pas être fondées sur une argumentation suffisante pour mériter d'être retenues.

Quand bien même nous acceptons le raisonnement de Bédard et David, nous devrions compléter l'affirmation suivante: « L'intensité de la dispersion géochimique postglaciaire, bien qu'importante, demeure modérée par rapport à l'évolution géochimique observée pour les altérites. Ceci confirme notre interprétation précédente à savoir que les altérites ont été formées dans des conditions de météorisation différentes, soit plus intenses ou de plus longue durée que celles qui sont en cours maintenant » (p. 207). Cette « plus longue durée » que celle qui caractérise l'évolution météorique des sédiments glaciaires du Wisconsinien supérieur, les auteurs n'ont nulle part cherché à l'évaluer, même de façon grossière. Le temps requis pour rendre compte de la dispersion géochimique observée dans les altérites est pourtant un aspect central de l'utilisation de ces données dans une argumentation en faveur d'un âge donné des matériaux analysés, notamment un âge de plus de 1,8 Ma.

ÉTUDE DÉTAILLÉE DE LA COUPE 216

La coupe 216, qui correspond à 2,20 m d'une arène développée sur basalte, a été étudiée plus en détail par Bédard et David. Leur mérite est d'avoir pour la première fois fait appel à l'examen pétrographique pour caractériser la phase résiduelle de l'altération. Cette technique, classique dans les études de pétrologie des altérations (Bocquier 1971; Brewer, 1964; Bullock *et al.*, 1985; Eswaran *et al.*, 1978; Ildefonse, 1978, 1987; Meunier, 1977; Proust, 1976; Rebertus *et al.*, 1986), permet notamment de déterminer les relations géométriques entre les différentes phases primaires et secondaires. C'est donc un moyen, lorsque d'autres techniques ont

permis une identification formelle des minéraux argileux (analyses microchimiques à la microsonde de Castaing, analyses minéralogiques de microprélèvements sur les lames minces étudiées), de mieux caractériser les modalités de l'altération et, conséquemment, de mieux interpréter la signification des altérites en termes de conditions pédoclimatiques actuelles et passées.

Malheureusement, le travail de Bédard et David ne présente aucune donnée granulométrique, chimique ou minéralogique originale, renvoyant plutôt le lecteur à notre article de 1989. Rappelons donc les faits suivants: notre coupe n° 1 (qui correspondrait à la coupe 216 des auteurs) montrait 2,3 m d'une altérite sableuse à la base mais dont la proportion d'argile et de limon augmente graduellement jusqu'à 10 % et 50 % respectivement au sommet. Les minéraux argileux principaux de la fraction $< 2 \mu\text{m}$ y sont l'illite et la kaolinite, avec des traces d'une phase à 14 Å (vermiculite ou chlorite). Nous n'avons pas publié les diagrammes X mais une évaluation qualitative de ces derniers montre des proportions de 70 % d'illite et de 30 % de kaolinite. Les analyses chimiques totales (éléments majeurs) indiquent entre autres une perte en bases de la base du profil vers le sommet, particulièrement du potassium (3,25 à 1,88 %) et du calcium (0,7 à 0,42 %), et un enrichissement relatif en silice (49,6 à 53,7 %), d'où un rapport $\text{SiO}_2/\text{bases}$ croissant vers le haut de l'altérite.

En 1989, nous avons conclu, à la lueur de ces données, que cette altérite ne présente pas une très grande « maturité » minéralogique. Il est clair en effet que cette coupe n'a rien de comparable aux formations d'altération bien connues et bien étudiées des environnements tempérés des moyennes latitudes (Dejou *et al.*, 1977; Ildefonse, 1978, 1987; Pierre, 1990; Seddoh, 1973). Il s'agit là d'une « arène ménagée » ne montrant qu'une évolution modérée, en tous les cas certainement pas un « degré d'altération très poussé » comme l'affirment Bédard et David (p. 208).

À l'appui de leur interprétation d'une formation de l'altérite de la coupe 216 par « lessivage intense », responsable d'une « kaolinisation » du basalte, Bédard et David ne présentent somme toute que les résultats préliminaires de l'étude de quatre photos prises au microscope optique. Sur ces photos, ils identifient des microlites pseudomorphosés par des minéraux argileux qu'ils prétendent être de la kaolinite sur le critère des seuls caractères optiques. Cela est nettement insuffisant et il aurait été plus sage d'attendre les résultats de l'analyse de ces matériaux à la microsonde. En effet, les auteurs affirment que le « fond » de la roche serait « entièrement kaolinisé » (p. 204). Comment concilier cette interprétation avec le fait qu'il n'y aurait dans cette coupe qu'environ 30 % de la fraction argileuse, laquelle ne fait que 10 % de l'altérite au maximum, qui correspond à de la kaolinite, c'est-à-dire 3 % de kaolinite au total pour l'horizon supérieur de l'altérite selon les données que nous possédons actuellement.

Plus intéressants sont les revêtements observés par Bédard et David dans le système fissural de l'altérite à texture conservée (isaltérite). Dans une altérite ou dans une roche, c'est le long des fissures que l'on est susceptible de trouver les solutions d'altération les plus diluées. Même en milieu tempéré froid, la vitesse de circulation des solutions y est en

effet souvent assez élevée pour que la composition des eaux soit en équilibre avec la kaolinite, voire avec la gibbsite. Cette situation a été reconnue depuis fort longtemps dans les altérites des moyennes latitudes (Dejou *et al.*, 1972; Duchaufour, 1983; Ildefonse *et al.*, 1978; Meunier, 1983; Tardy, 1969; Velde, 1985). Dans un environnement aussi humide que les hauts plateaux de la péninsule gaspésienne, une arène poreuse et perméable peut très bien être le lieu de néoformations de kaolinite dans les fissures, sans que cela n'ait d'implication paléoclimatique particulière. Il est vrai toutefois qu'en milieu tempéré humide la formation de kaolinite est moins courante sur roches basiques que sur roches acides, les auteurs faisant plutôt mention de la présence d'édifices 2/1 de type smectite dans le système fissural des altérites développées sur gabbros et amphibolites (Ildefonse *et al.*, 1978; Meunier, 1983). Il y a là un point intéressant dont on doit tenir compte, mais il faudrait d'abord identifier la nature de l'argile « grise », de l'argile « massive brun clair », et de l'argile « granuleuse brun verdâtre » qui forment ces revêtements. Là encore les analyses à la microsonde donneront au moins une idée de la composition chimique de ces matériaux. De toute façon, ce qui manque aussi à cette discussion, c'est une mesure quantitative de la proportion des différentes phases secondaires pour un volume donné de l'altérite, c'est-à-dire une analyse thermique différentielle des niveaux correspondant aux photos publiées par Bédard et David.

En ce qui concerne l'interprétation des différents revêtements successifs, il nous semble clairement abusif d'invoquer des climats chauds et humides ou chauds et arides pour rendre compte de tel revêtement de silice. Il ne faudrait tout de même pas oublier qu'il ne s'agit là que d'un *seul* trait pédologique, observé sur *une seule* coupe! N'oublions pas non plus que les facteurs de formation d'une altérite sont multiples et complexes, les uns associés à des conditions strictement liées au site (inconnues en l'occurrence), les autres aux conditions climatiques régionales.

LA PROBLÉMATIQUE ASSOCIÉE AUX PROFILS D'ALTÉRATION DU QUÉBEC MÉRIDIONAL

Après la lecture de l'article de Bédard et David, il nous semble utile de rappeler la problématique d'ensemble des profils d'altération pré-wisconsinien supérieur du domaine des grands inlandis du Quaternaire. À première vue, il y a trois hypothèses possibles concernant l'âge d'une altérite dans ces régions:

a) Le développement du profil d'altérite a commencé avant les glaciations quaternaires et l'altérite est donc constituée d'une part d'un résidu de manteau d'altération tertiaire qui a été épargné par le récurage de plusieurs glaciations (altérite tertiaire). Le front d'altération ne s'étant certainement pas figé en profondeur depuis cette période très ancienne jusqu'à l'Actuel, on devrait retrouver, sous-jacentes à cette altérite tertiaire, un profil d'altération développé au cours des phases plus froides du Quaternaire et de l'Holocène. Donc, dans une même coupe on devrait logiquement retrouver plusieurs générations d'altérites très différentes les unes des autres quant à la minéralogie, la géochimie, la granulométrie. Selon cette hypothèse, on aurait des altérites de climat tempéré et froid à la base, surmontées d'une altérite tropicale.

b) Le développement de l'altérite a commencé lors d'un interglaciaire et s'est maintenu malgré une ou plusieurs phases de récurage glaciaire. L'altérite aurait alors des caractères liés au climat tempéré. L'altération holocène y serait superposée, mais étant donné les conditions climatiques assez similaires ayant régné lors des interglaciaires du Pléistocène et l'Actuel, on ne pourrait sans doute pas identifier plusieurs générations d'altérites. Une évolution sur une plus grande période amènerait par contre une épaisseur plus grande de l'altérite.

c) L'altérite s'est développée depuis le départ des glaces et est donc d'âge holocène. Ses caractères minéralogiques, géochimiques et granulométriques reflèteraient également un développement dans des conditions tempérées.

À cela nous pouvons ajouter le modèle proposé par Peulvast (1989) pour les altérites préglaciaires de Norvège. Ce modèle prend en compte (1) l'approfondissement continu du front d'altération depuis le Tertiaire jusqu'à nos jours, et (2) l'érosion de la partie superficielle du manteau d'altération au cours du Pléistocène, notamment par les différents inlandsis successifs. Il résulte de cette évolution continue que la partie la plus évoluée des profils d'âge tertiaire a toutes les chances de se trouver depuis longtemps érodée, cela dans l'hypothèse de la poursuite de l'altération, même intermittente, en un même endroit. Les profils que nous retrouvons aujourd'hui, bien que parfois associés de façon géographique aux éventuelles anciennes latérites, leur sont bien postérieurs et, pour la plupart, d'âge pléistocène. Ces profils possèdent des caractères en accord avec les conditions lithologiques, topographiques et climatiques (climats tempérés) et avec leur plus ou moins longue durée d'évolution.

L'étude des profils d'altération du Québec méridional est donc une chose complexe qui exige de la prudence. Il est important de positionner ces profils (il y en a peut-être plusieurs générations) dans un cadre stratigraphique régional. Toutefois, la détermination de l'âge d'une altérite est délicate (Godard, 1989) et actuellement il n'existe pas de méthode de datation entièrement satisfaisante, surtout en domaine englacé au Quaternaire. Nous avons été très prudents lorsque nous avons estimé l'âge de trois altérites dans ce secteur (dont celle de la coupe 216) et avons souligné la nécessité d'utiliser des méthodes analytiques indépendantes les unes des autres afin de vérifier les hypothèses: « *Using independent analytical methods strengthens the ability to test hypotheses that determine the ages of residual weathering profiles* » (Bouchard et Pavich, 1989, p. 136), ce que nous avons repris dans une réplique (Bouchard et Pavich, 1991). Nous avons alors confronté les interprétations (dressées indépendamment) des résultats des analyses granulométriques, minéralogiques (DRX) et géochimiques (éléments majeurs et inventaires en ^{10}Be). Ainsi, même si nous ne pouvions évincer complètement la première hypothèse concernant l'âge de ces trois altérites, *plusieurs* arguments étaient contre, ce que nous avons explicité (Bouchard et Pavich, 1989, 1991).

Nous estimons avoir fait un pas en avant en proposant pour la première fois une datation absolue sur de telles altérites et avoir ainsi enclenché une réflexion sur la probléma-

tique spécifique au domaine glaciaire du Pléistocène. La méthode du ^{10}Be doit bien évidemment être adaptée aux environnements situés au nord de la limite glaciaire du Pléistocène, notamment pour tenir compte de l'impact de la présence prolongée de l'inlandsis sur ces régions sur l'enrichissement des sols en ^{10}Be au cours du temps. Le recours à l'examen pétrographique des altérites est lui aussi prometteur, permettant d'apporter de nouveaux éléments susceptibles de préciser leur interprétation paléoenvironnementale. Mais encore faut-il appliquer cette méthode correctement, c'est-à-dire bien interpréter les faits: (a) la nature des différentes phases, ce qui exige le recours aux données de diffractométrie-X sur les échantillons à partir desquels ont été réalisées des lames minces, et aux analyses microchimiques sur les mêmes lames minces, et (b) les relations géométriques entre ces phases, lesquelles mènent ultérieurement à une interprétation tenant compte de tous les résultats obtenus par ailleurs (le site, c'est-à-dire le contexte géomorphologique, les conditions thermiques et hydriques; la description précise de la coupe sur le terrain).

Finalement, il n'y a rien dans les données originales présentées par Bédard et David qui puisse indiquer que l'altérite de la coupe 216, et donc que les 26 sites d'altérites (puisque'ils extrapolent leur analyse de la coupe 216 à l'ensemble des 26 « altérites »), représentent « les vestiges d'une très ancienne surface de météorisation formée sous climat chaud et humide, vraisemblablement d'âge tertiaire » (p. 209). Quant à « l'âge tertiaire » attribué à la coupe 216, extrapolé à l'ensemble des 26 altérites et finalement à la surface sous les tills d'âge wisconsinien « à cause de l'histoire minéralogique complexe révélée par les lames minces de l'altérite de la coupe 216 » (p. 208), il n'est toujours pas prouvé sur la base de cet argument. En fait, lorsque Bédard et David affirment: « L'âge sangamonien proposé pour trois de ces altérites par Bouchard et Pavich (1989) est inconciliable avec nos données stratigraphiques, minéralogiques et géochimiques » (p. 209), c'est incorrect. Les données en question nous semblent au contraire conforter les conclusions auxquelles nous en étions arrivés, à savoir que les caractères des profils d'altération connus à ce jour dans la péninsule gaspésienne ne nous permettent pas de leur attribuer un âge très ancien. Selon nos connaissances actuelles, le développement de ces profils a fort probablement débuté quelque part entre le Quaternaire moyen et le Wisconsinien.

RÉFÉRENCES

- Bédard, P. et David, P.P., 1991a. La météorisation sur les hauts plateaux de la Gaspésie (Québec): quelques aspects. *Géographie physique et Quaternaire*, 45: 195-211.
- 1991b. Characteristics and significance of pre-Wisconsinan saprolites in the northern Appalachians: Discussion. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 35: 367-371.
- Bocquier, G., 1971. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Doct. État, Univ. de Strasbourg, 364 p.
- Bouchard, M. et Pavich, M.J., 1989. Characteristics and significance of pre-Wisconsinan saprolites in the northern Appalachians. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, Suppl.-Bd. 72: 125-137.

- . 1991. Reply of Mireille Bouchard and Milan J. Pavich to the discussion of Pierre Bédard and Peter P. David. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. F., 35: 373-377.
- Brewer, R., 1964. *Fabric and mineral analysis of soils*. John Wiley, New York, 470 p.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G. et Tursina, T., 1985. *Handbook for soil thin section description*. Wayne Research Publications, 152 p.
- Dejou, J., Guyot, J. et Chaumont, C., 1972. La gibbsite, minéral banal d'altération des formations superficielles et des sols développés sur socles cristallins et cristallophylliens dans les zones tempérées humides. 24th Intern Geological Congress, Section 10: 417-425.
- Dejou, J., Guyot, J. et Robert, M., 1977. Évolution superficielle des roches cristallines et cristallophylliennes dans les régions tempérées. INRA, Paris, 461 p.
- Duchaufour, P., 1983. *Pédologie. 1. Pédogénèse et classification*. Masson, Paris, 491 p.
- Eswaran, H. et Bin, W.C., 1978. A Study of a Deep Weathering Profile on Granite in Peninsular Malaysia: 1. Physico-Chemical and Micromorphological Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 144-149.
- Godard, A., 1989. Les vestiges des manteaux d'altération sur les socles des Hautes Latitudes: identification, signification. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 35: 1-20.
- Ildefonse, P., 1978. Mécanismes de l'altération d'une roche gabbroïque du Massif du Pallet (Loire Atlantique). Thèse de spécialité, Université de Poitiers, 142 p.
- . 1987. Analyse pétrologique des altérations prémétéoriques et météoriques de deux roches basaltiques (Basalte alcalin de Belbex, Cantal, et hawaïte de M'Bouda, Cameroun). Thèse Doct. État, Université de Paris VII, 323 p.
- Ildefonse, P., Proust, D., Meunier, A. et Velde, B., 1978. Rôle de la structure dans l'altération des roches cristallines au sein des microsystèmes. *Science du sol*, 2-3: 239-257.
- Meunier, A., 1977. Les mécanismes de l'altération des granites et le rôle des microsystèmes. Étude des arènes du massif granitique de Parthenay (Deux-Sèvres). Thèse Doct. État, Univ. de Poitiers, 248 p.
- . 1983. Micromorphological advances in rock weathering studies. In P. Bullock et C.P. Murphy, édit., *Soil Micromorphology*. Vol. 2 Soil Genesis. A.B. Academic Publ.
- Peulvast, J.-P., 1989. Les altérites et l'identification des reliefs préglaciaires dans une montagne de haute latitude: l'exemple des Scandes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 35: 55-78.
- Pierre, G., 1990. Les altérites fossilisées par des coulées de lave: valeur paléoclimatique et implications géomorphologiques; l'exemple de l'Auvergne, de l'Aubrac et du Velay. Thèse Doct. Nouv. Régime, Univ. de Paris I, 179 p.
- Proust, D., 1976. Étude de l'altération des amphibolites de la Roche l'Abeille: évolutions chimiques et minéralogiques des plagioclases et des hornblendes. Thèse de spécialité, Univ. de Poitiers, 85 p.
- Rebertus, R.A., Weed, S.B. et Buol, S.W., 1986. Transformation of Biotite to Kaolinite during Saprolite-Soil Weathering. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 810-819.
- Seddoh, F.K., 1973. Altération des roches cristallines du Morvan: granites, granophyres, rhyolites. Étude minéralogique, géochimique et micromorphologique. Thèse Doct. État, Université de Dijon, 377 p.
- Tardy, Y., 1969. Géochimie des altérations. Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Thèse Doct. État, Université de Strasbourg, 274 p.
- Velde, B., 1985. *Clay Minerals. A physico-chemical explanation of their occurrence*. Elsevier, Amsterdam, 427 p.